DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202311039

# 江西省重点保护野生维管植物的比较研究和地理分布

万萍萍 [1]，王利松 [1*]，吴少东 [1]，谢明华 [2]
（1. 江西省、中国科学院庐山植物园，江西 九江，332900； 2. 江西省野生动植物保护中心，南昌，330000）

**摘要：**珍稀濒危野生植物是重要的战略资源和生物多样性保护的重要组成部分。掌握江西省重点保护植物的多样性和地理分布是制定省域范围内科学保护和管理办法的关键步骤。通过整合《国家重点保护野生植物名录》（2021）中江西省分布的种类和《江西省重点保护野生植物名录》（2005），结合国家标本资源共享平台数字化的标本分布数据，对江西省重点保护野生维管植物多样性、保护概况和地理分布特征进行分析。结果表明：（1）江西省分布的国家重点保护植物有 148 种（包括种下类群），分属 47 科 89 属。（2）整合的江西省重点保护植物总计 407 种，分属 85 科 208 属。其中石松和蕨类植物 9 科 10 属 16 种；裸子植物 6 科 17 属 26 种；被子植物 70 科 181 属 365 种。（3）407 种重点保护植物中，60.9%的种类在 32 个国家级和省级自然保护区有分布；70.5%的种类在中国 67 个植物园有分布。（4）物种丰富度的观察值和估计值表明，物种丰富度较高的区域包括北部的庐山，西部的九岭山、武功山和井冈山，南部南岭的大庾岭、九连山，东部的武夷山及其邻近区域，估计的重点保护植物物种丰富度格局和江西省 5 个生物多样性保护关键区域有较高的一致性。该文讨论了《江西省重点保护植物名录》（2005）收录种类存在的问题，并提出了未来省级保护植物名录优先物种选择的 6E 原则和加强省级重点保护植物研究的相关建议。

**关键词：**中国，保护生物学，分布格局，江西省，重点保护植物名录，珍稀濒危植物，物种丰富度

# Comparative study and geographical distribution of key protected wild vascular plants in Jiangxi Province, China

WAN Pingping[1], WANG Lisong[1*], WU Shaodong[1], XIE Minghua[2]
(1. *Lushan Botanical Garden, Chinese Academy of Sciences*, Jiujiang 332900, Jiangxi, China; 2. *Conservation Center of Wild Animals and Plants in Jiangxi Province*, Nanchang 330000, China)

**Abstract**: Rare and endangered wild plants are important strategic resources and an essential component of biodiversity conservation. Grasping the diversity and geographic distribution of key protected plants in Jiangxi Province is a key step in developing scientific conservation and management at the provincial scale. Based on combined checklist of the National Key Protected Wild Plants (NKPWP, 2021) and the checklist of the Key Protected Wild Plants in Jiangxi Province (KPWP, 2005), and digitized herbarium specimens provided by the National Specimen

---

**基金项目：**庐山植物园科技基础专项（2021ZWZX06;2023ZWZX01）。
**第一作者：**万萍萍（1992-），硕士，助理研究员，研究方向为植物区系地理，（E-mail）wanpp@lsbg.cn。
**通信作者：**王利松，博士，副研究员，研究方向为植物区系地理、系统与进化和生物多样性信息学，（E-mail）wanglisong@lsbg.cn。

Information Infrastructure (NSII), the diversity, geographic distribution, and conservation profile of these plants found in Jiangxi Province are analyzed. The results are as follows: (1) Total of 148 species of NKPWP (including intraspecies taxa), spanning 89 genera and 47 families, are found in Jiangxi province. (2) Total of 407 species, belonging to 85 families and 208 genera, are recognized as the key protected plants in Jiangxi province, including 16 species of lycopods and ferns (9 families and 10 genera); 26 species of gymnosperms (6 families and 17 genera), and 365 species of angiosperms (70 families and 181 genera). (3) Among of these species, 60.9% of them are protected within 32 national and provincial natural reserves; 70.5% of them are conserved *ex situ* in 67 Chinese botanic gardens. (4) The hotspots of the key protected wild plants are identified, including mountains and its adjacent areas of Lushan, Jiuling, Wugong, Jinggang, Dayuling, Jiulian, and Wuyi. The distribution pattern of hotspots is generally consistent with the ranges of five key protected areas of biodiversity conservation in Jiangxi Province. The issues of the species included in the checklist of the key protected wild plants of Jiangxi Province (2005) were discussed, and the 6E principles of the priority selection of key protected wild plants at province level and the related suggestions to strengthen the research on provincial protected plants were proposed.
**Key words:** China, conservation biology, distribution pattern, Jiangxi Province, key protected plant checklist, rare and endangered plants, species richness

野生植物为人类生存发展提供了包括粮食、蔬菜、药材、木材、花卉、氧气等在内的物质基础，是地球生态系统的重要组成部分（National Research Council, 1999; Hiscock et al., 2019; Knapp, 2019）。作为重要的战略资源和遗传资源，野生植物是文化发展的物质载体和灵感源泉，保护野生植物资源是实现生态和资源安全的重要保障（周志华和金效华，2021）。国家级和省级重点保护野生植物名录是相关部门实施野生植物资源保护管理的重要科学依据。自 20 世纪 90 年代开始，《国家重点保护植物名录》（傅立国，1995；于永福，1999）、《中国植物红皮书》（傅立国，1991）、《中国物种红色名录》（汪松和解炎，2004）等成果为我国珍稀濒危植物的保护奠定了重要研究基础。国家林业和草原局与农业农村部公告（2021 年第 15 号）发布了新版的《国家重点保护野生植物名录》（2021），明确了新形势下国家重点保护野生植物的种类，为依法加强保护、打击乱采滥挖、提高公众保护意识等奠定了基础（鲁兆莉等，2021；Xu & Zang, 2023; 吴欣静等，2023）。

江西省是较早积极响应野生植物保护行动的省份，于 1994 年 6 月通过了《江西省野生植物资源保护管理暂行办法》。同年 10 月，省林业厅公布了共 163 种的《江西省重点保护植物名录（第一批）》（王江林，1994；谢国文，1994；中国农业全书总编辑委员会，2001）。根据野生植物资源保护和利用现状，于 2005 年对省级重点保护名录进行了调整。调整后的名录明确将 3 类植物，即江西省有分布的兰科（Orchidaceae）、杜英属（*Elaeocarpus* L.）和紫薇属（*Lagerstroemia* L.），及其他 120 多种，总计 300 余种野生植物纳入保护对象，并根据重要性分为 3 个保护等级。

根据《国家重点保护野生植物名录》（第一批）（1999）和不同版本的《江西省重点保护野生植物名录》，有研究者对江西省分布的重点保护植物开展了相关研究。例如，臧敏和毛尚俊（2005）、臧敏等（2007）和王春香等（2007）分别分析了 103、53、87 种植物的区系成分；臧敏等（2007）、俞群等（2016）和臧敏等（2018）分别研究了 53、313、422 种的地理分布。这些研究工作为《江西省生物多样性保护战略与行动计划 2013—2030》的制定提供了重要参考。但随着江西省植物区系新的发现，如姬红利等（2019）、郑圣寿等（2019）、刘环等（2020）、刘忠成等（2020）、赵万义等（2020）、覃俏梅等（2021）、廖海红等（2022）、

徐国良和黄曾（2023），以及最近多个植物编目成果的发布（彭焱松等，2021；寄玲等，2022；吴丁等，2022），江西省分布的珍稀濒危植物种类和相关信息发生了较大变动。有必要依据最新版本的《国家重点保护野生植物名录》（2021），并整合 2005 年颁布的省级保护植物名录，对江西省分布的重点保护野生植物进行梳理和研究。截至目前，尚没有研究工作针对《江西省重点保护植物》（2005）和《国家重点保护野生植物名录》（2021）中江西省分布的种类开展过比较研究。涉及省级重点保护植物选定的一些重要问题。例如：国家和省级保护的种类是否存在重叠？省级保护的种类是否体现了受威胁种类的优先保护原则？等。理清这些基本问题对未来省级保护植物名录的调整和完善，省区范围内统筹协调国家级和省级保护植物的管理将提供重要的决策依据。同时，重点保护植物地理分布的研究为重点保护植物的野外调查，空间保护规划和决策提供科学依据（Zhang & Ma, 2008; 张殷波和马克平，2008；苑虎等，2009），是实施有效保护的基础（Flather et al., 1998; 马克平，2001；Ferrier, 2002）。因此，通过整合江西省分布的国家重点保护野生植物，省级保护名录以及相关数据，对江西省重点保护植物的多样性和地理分布开展研究是制定省域范围内科学保护和管理的关键步骤。

# 1 材料与方法

## 1.1 研究区域概况

江西省地处我国东南偏中部（113°35′—118°29′ E、24°29′—30°05′ N），长江中下游南岸，面积约17万平方公里，境内三面环山，中间丘陵起伏，地貌南高北低，由南向北、由外向内逐渐向鄱阳湖倾斜（图2：A）。年平均气温16.3～19.5 ℃，自南向北略有递减，年平均降雨量1 350～1 940 mm，属温暖潮湿的中亚热带季风气候。在植物区系发展史上，江西省处于古热带和泛北极两大植物区系交接地带。长期受东亚季风气候影响，水热充沛（He & Wang, 2021)，区域内未直接受第四纪大陆冰川的显著影响，境内保存和孕育了丰富的植物多样性，是亚热带植物区系发展历史特别悠久的地区之一（林英，1983；江西森林编委会，1986；谢国文，1991）。复杂多样的山岳条件和常绿阔叶林构成的“绿色保护伞”保存了冰期南下的植物和间冰期北上的植物，成了一些古蕨类、古裸子植物和原始被子植物的“避难所”和南下、北上植物理想的“侨居地”（杨光耀，2018）。境内特有和珍稀濒危植物种类众多（谢国文等，1996；季春峰等，2010；臧敏等，2018），是华东地区植物多样性最丰富的省份。有野生维管植物5 600余种（彭焱松等，2021；徐楚津，2021；寄玲等，2022；吴丁等，2022）。

## 1.2 名录和分布数据

名录和分布的数据的整合包括如下 7 个步骤：（1）整合《江西省维管植物多样性编目》（彭焱松等，2021），《江西省野生被子植物名录》（吴丁等，2022）和《江西省野生维管植物名录》（2022 版）（寄玲等，2022），以及近年来发表的江西省维管植物新分布记录，如姬红利等（2019）、郑圣寿等（2019）、刘环等（2020）、刘忠成等（2020）、赵万义等（2020）、覃俏梅等（2021）、廖海红等（2022）、徐国良（2023）等，形成相对完整的江西省野生维管植物名录及省级和县域分布信息；（2）根据《国家重点保护野生植物名录》涉及种类以及步骤（1）中的分布信息，从中筛选出包括 148 种（包括种下类群），分属 47 科 89 属的江西省有分布的国家重点保护植物名单；（3）依据步骤（1）的名录和分布信息，形成包括所有江西省有分布的兰科（Orchidaceae）、杜英属（*Elaeocarpus* L.）和紫薇属（*Lagerstroemia* L.）和其他总计 305 种的《江西省重点保护植物名录》（2005）；（4）将步骤（2）和（3）两个名录合并，最终形成包括 407 种野生植物（排除了引种栽培的种类, 分属 85 科 208 属）的江西省重点保护植物名录；（5）依据 407 种植物学名直接比较，从国家标本资源共享平台（National Specimen Information Infrastructure: NSII）提供的江西省有分布的 427 565 份维管植物数字化标本中筛选出与 407 种重点保护植物匹配的标本记录，并排除江西省外分布的记

录；（6）系统查阅江西省中国科学院庐山植物园标本馆（LBG）、江西农业大学林学院树木标本馆（JXAU）、九江森林植物标本馆（JJF）、南昌大学生物标本馆（JXU）等馆藏标本，以及相关的文献信息，核实部分种类的鉴定和分布信息；（7）通过高德地图地理编码网络服务接口（https://lbs.amap.com/api/webservice/guide/api/georegeo/）补充完善缺失经纬度信息的分布记录，最终形成包括 361 种重点保护植物，15 065 份有经纬度信息的分布数据集（唯一不重复的分布点）。相关名录数据中种类的分类归属和名称的使用依据《中国生物物种名录（植物卷）》（王利松等，2015；王利松等，2018；鲁兆莉等，2021），尽可能保持数据匹配的一致性，以确保江西省重点保护野生植物名录和分布信息的相对完整和准确。

**1.3 保护区分布和植物园引种栽培记录**

根据生态环境部发布的自然保护区名录（http://www.mee.gov.cn）和《江西省生物多样性保护战略与行动计划 2013—2030》列举的江西省自然保护地名录绘制江西省 15 个国家级自然保护区和 32 个省级自然保护区的矢量图层。将标本分布点与自然保护区图层叠加，统计保护区有分布的重点保护野生植物种类数量。根据《中国迁地栽培植物志名录》（黄宏文，2014），《中国迁地栽培植物大全》（黄宏文，2017），已出版的《中国迁地地植物志》（黄宏文，2014-2021），《中国栽培植物名录》（林秦文，2017），确认并统计植物园引种栽培的重点保护植物的种类和数量。

**1.4 重点保护植物物种丰富度的空间分布估计**

将江西省以 1 km ×1 km 为空间分析单元划分为 1 680 个网格。通过空间矢量图层和 15 065 条分布点数据（361 种）叠加分析，计算每个网格中出现的分布点数量和物种数量。分布点数量使用 $\log_{10}$ 对数转换并栅格化作图，表达每个网格区域的调查强度。以广泛使用的物种丰富度（Specie Richness, SR）（Prendergast et al., 1993; Davies & Cadotte, 2011）为指标，计算每个网格出现的物种数量作为物种丰富度的观察值。利用地统计克里金回归（Regression-Kriging, R-K）模型估计每个网格的物种丰富度，作为每个网格物种丰富度的估计值。R-K 模型的基本技术是最佳线性无偏估计的空间版本。它将目标变量的值作为确定性（即空间自相关性）和随机成分的函数进行建模（Hengl et al., 2007; Hengl, 2009; Cressie & Wikle, 2011）。用物种丰富度估计值减去观察值作为网格单元调查完整性和知识空缺的评估指标，并对相关结果进行空间作图。

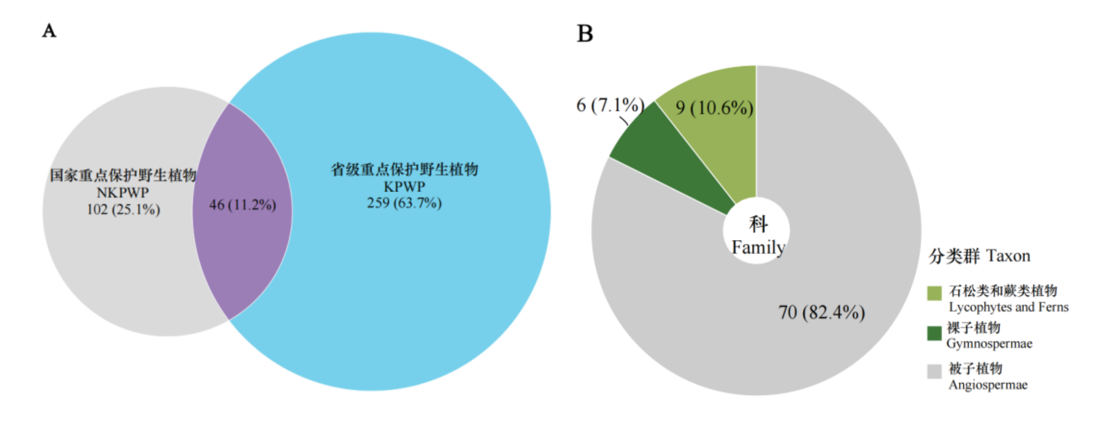
R-K 分析首先需要选择调查相对完善的网格来计算半方差函数（Semi-variogram）。为此，我们使用拟合的物种累积曲线来描述每个网格的物种丰富度与调查强度间的关联关系（Lobo et al., 2018; Alves et al., 2019）。接下来，综合了从这一过程中得出的三个度量指标：（1）完整性：通过物种累积曲线估算出的物种丰富度百分比；（2）比率：网格内出现记录数与观察到的物种丰富度之间的比率；（3）斜率：观察到的累积物种丰富度与分布点数量之间的斜率。按照（Sousa-Baena et al., 2014）的方法，选择完整性>85%，比率>4，斜率<0.02，网格记录数量>250 的网格作为样本相对较为完善的取样单元。以上分析使用 R 软件包 KnowBR（Lobo et al., 2018）完成。然后，从世界气候数据集 2.1 版（Fick & Hijmans, 2017）获取到年均温、年平均降雨量等 16 个环境变量。通过相关分析，以皮尔逊（Person）相关系数<0.7 为标准，最终保留年平均温、温度的季节性变化、最冷月的最低温、温度的年际变化范围、年平均降雨量、最干月的降雨量、降雨的季节性变化、最干季降雨量和海拔 9 个相关系数<0.7 的环境变量运行 R-K 模型分析。以上分析利用 R 软件包 ape（Paradis et al., 2004），MuMIn（Barton, 2009）和 raster（Hijmans & van Etten, 2014）完成。

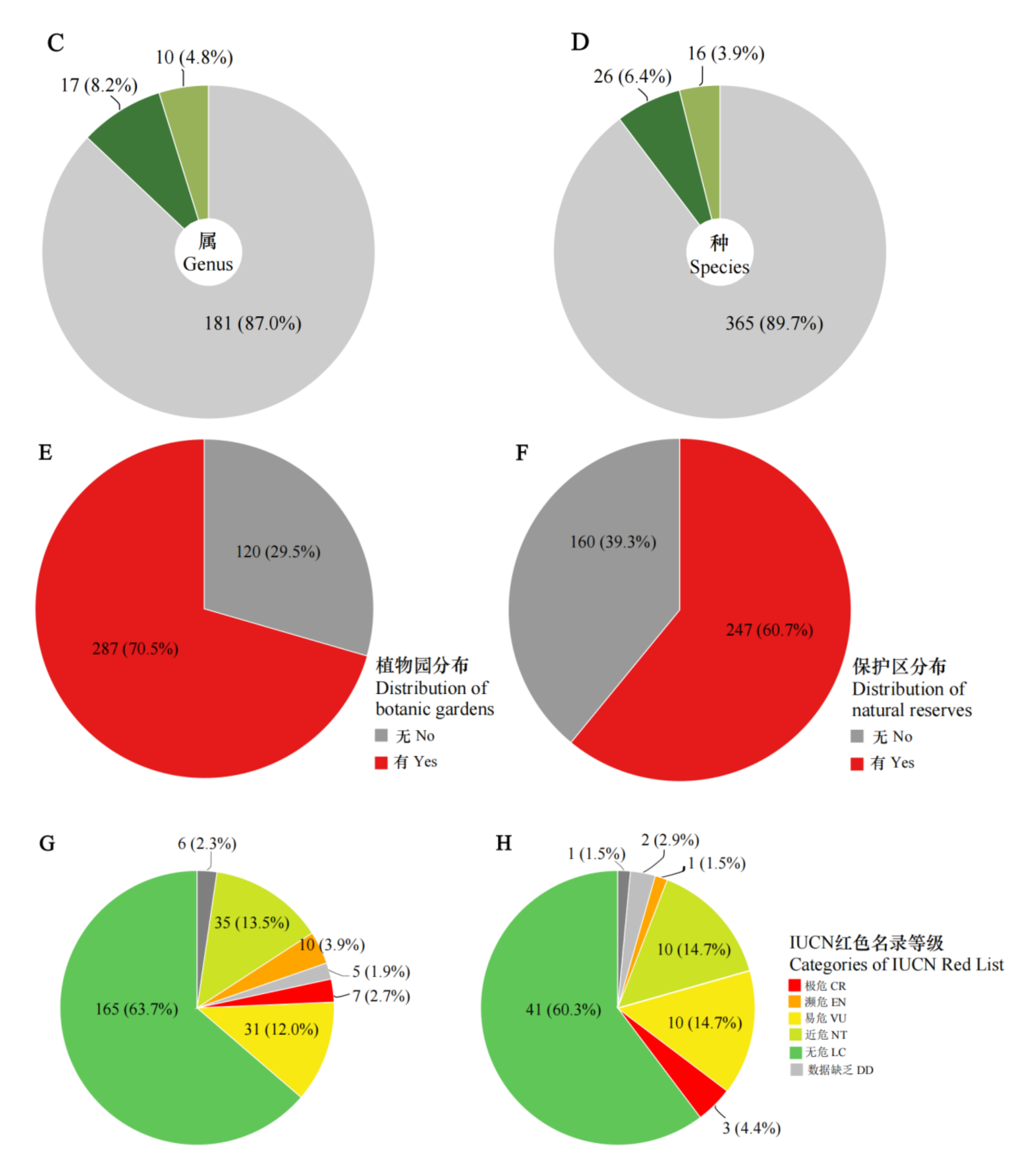
# 2 结果与分析

## 2.1 重点保护植物的多样性以及在保护区和植物园分布

整合形成的江西省重点保护野生维管植物总计有 407 种，分属 85 科 208 属。其中列入《国家重点保护野生植物名录》（2021）的有 148 种，列入《江西省重点保护野生植物名录》（2005）的有 305 种（图 1：A）。407 种植物中，石松类和蕨类植物 9 科 10 属 16 种；裸子植物 6 科 17 属 26 种；被子植物 70 科 181 属 365 种（图 1：B-D，附录 1）。407 种植物中，60.7%的种类（247 种）在江西省 14 个国家级（230 种，占总种数的 56.5%）和 18 个省级保护区（133 种，占总种数的 32.7%）有分布；70.5%的种类（287 种）在国内 67 个植物园有迁地保护记录（图 1：E-F，附录 1）。重点保护植物在各自然保护区分布的数量由多到少依次是：庐山（130 种）、井冈山（87）、伊山（71）、九连山（58）、齐云山（46）、官山（45）、马头山（45）、岩泉（37）、五指峰（35）、阳际峰（33）、玉京山（28）、武夷山（27）、南风面（23）和云居山（20），其他 18 个保护区分布的重点保护植物种类数量少于 20 种（附表 1）。重点保护植物在各植物园分布的数量由多到少依次是：中国科学院武汉植物园（WBG，220 种）、华南国家植物园（SCBG，205）、杭州植物园（HBG，185）、南京中山植物园（NBG，174）、上海辰山植物园（CBG，160）、西双版纳热带植物园（XTBG，160）、昆明植物园（KBG，142）、桂林植物园（GXIB，138）、深圳仙湖植物园（FLBG，135）、东莞植物园（DGBG，130）、赣南树木园（GNA，129）、福州植物园（FBG，125）、厦门市园林植物园（XMBG，122）、庐山植物园（LSBG，121）、贵州省植物园（GBG，106）、湖南省森林植物园（HNFBG，105）、浙江农林大学植物园（ZAFU，105），其他植物园分布的重点保护植物种类数量少于 100 种（附表 2）。

比较表明，江西有分布的国家重点保护植物和 2005 版的省级保护植物有 46 种存在重叠（图 1：A）。排除 46 种重叠种类后的 259 种省级保护植物中，仅有 18.5%的种类是受威胁种，包括极危（CR）7 种，濒危（EN）10 种和易危（VU）31 种；63.7%的种类（165 种）是无危（LC），13.5%的种类（35 种）是近危（NT）；2.3%的种类（6 种）缺乏评估数据（图 1：G）。259 种植物中，中国特有种 68 种，占比 26.3%。这 68 种中国特有种类中，60.3%的种（41 种）是无危种（LC），受威胁的种类仅有 14 种，包括极危 3 种，濒危 1 种和易危 10 种（图 1：H）。






**A.** 江西省分布的国家重点保护植物（NKPWP）和省级重点保护植物（KPWP）种类组成差异；**B-D.** 重点保护植物中石松和蕨类、裸子植物和被子植物的科属种组成和比例；**E-F.** 重点保护植物在植物园和保护区的分布的种类数量和比例；**G-H.** 259 种省级重点保护植物和其中 68 种中国特有种的红色名录评估等级组成。

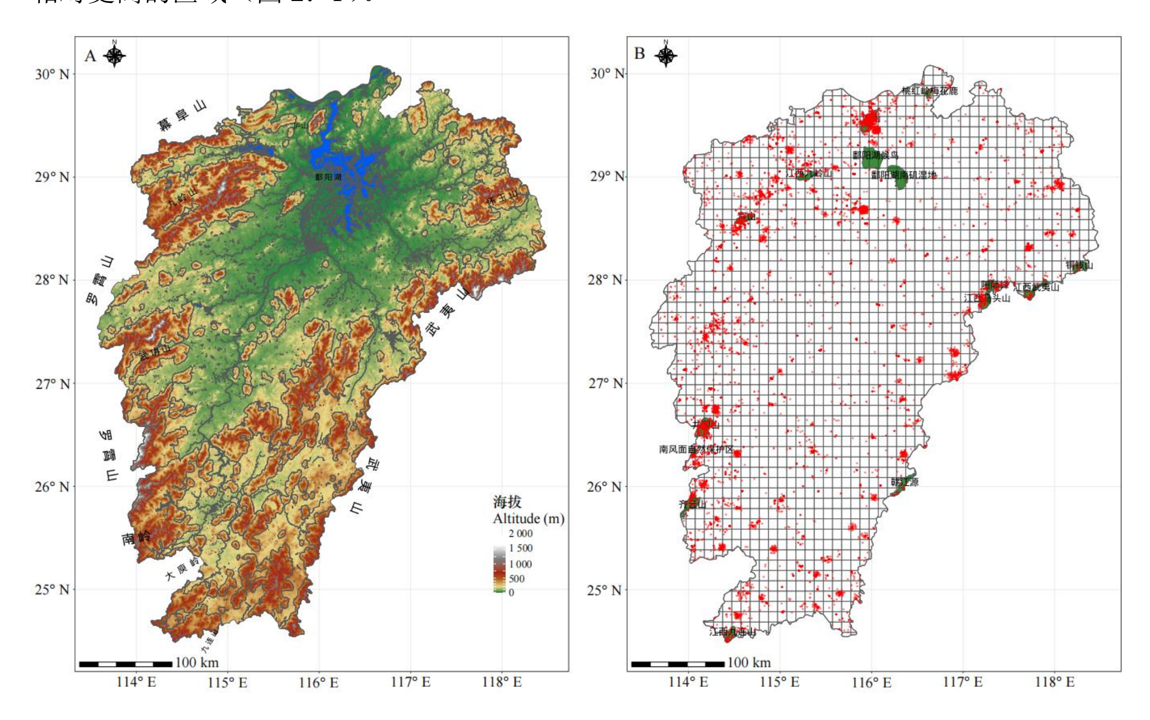
**A.** Differences in the species composition of the national key protected wild plants (NKPWP) found in Jiangxi province and the provincial key protected wild plants (KPWP); **B-D.** Taxonomic composition and proportions of lycopods and ferns, gymnosperms and angiosperms for the key protected wild plants in Jiangxi province; **E-F.** Number of species and proportion of the key protected wild plants in Chinese botanic gardens and natural reserves; **G-H.** Composition of IUCN Red List categories for 259 species of the key protected wild plants in Jiangxi province, and 68 of them endemic to China.

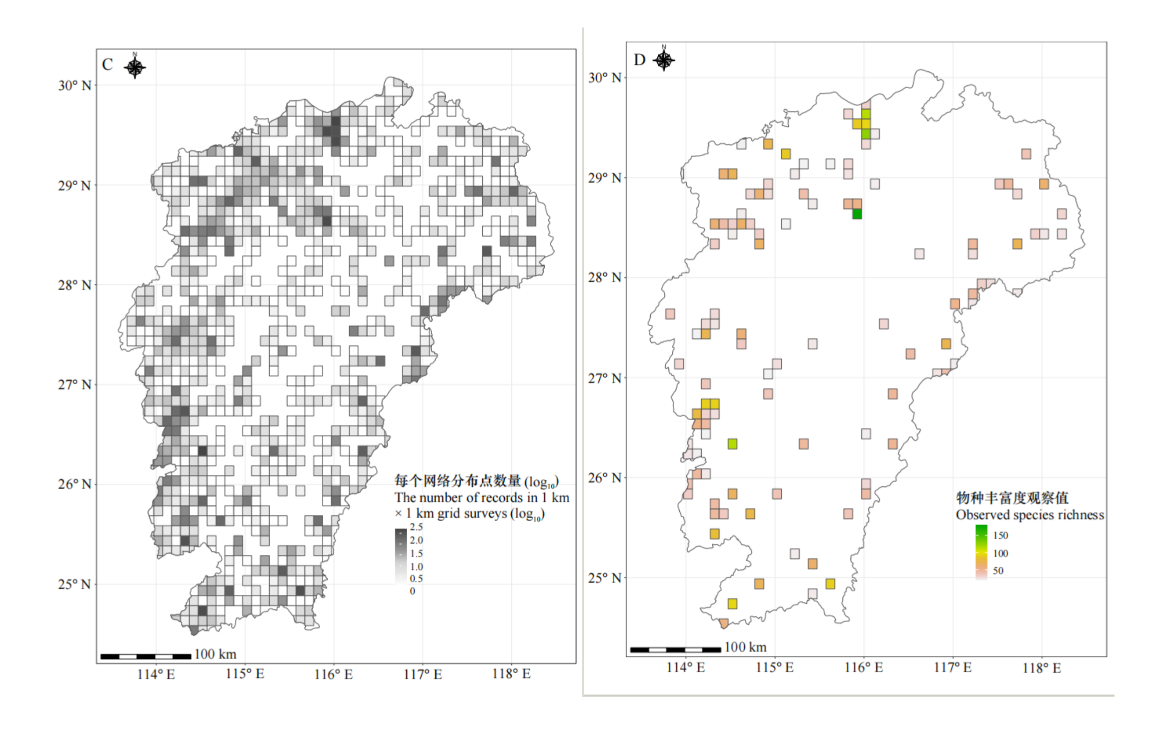
**图 1 江西省重点保护野生植物多样性、在植物园和保护区分布的物种数量和 IUCN 红色名录评估等级**

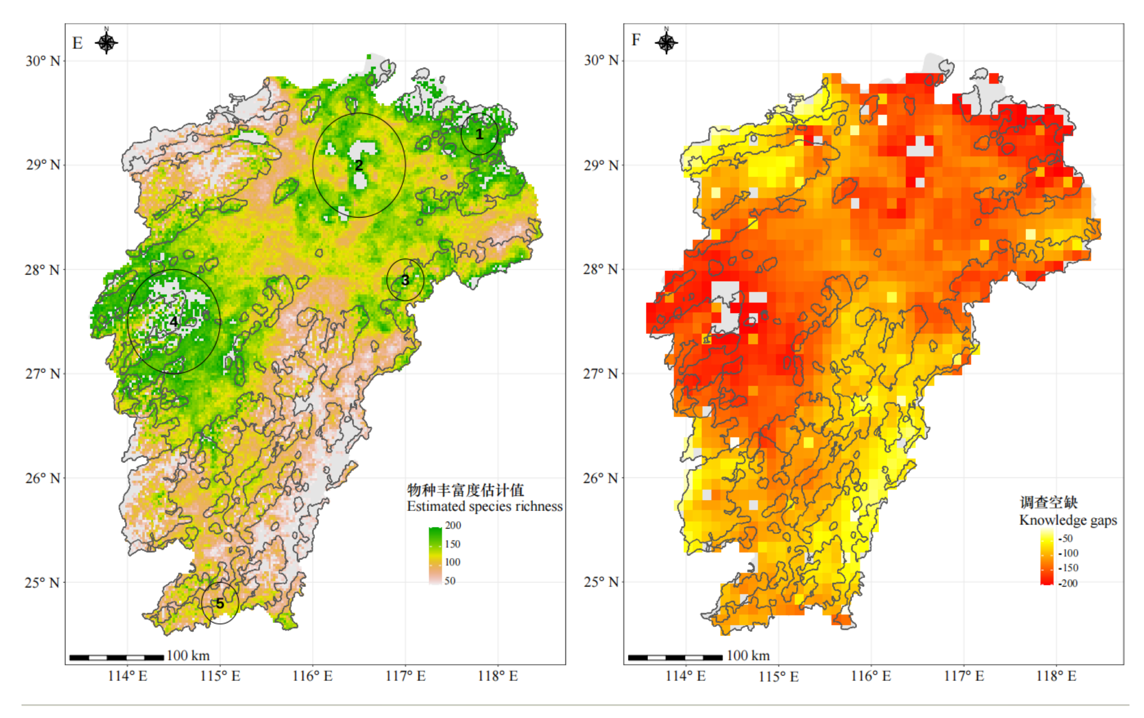
Fig.1 Diversity of the key protected wild plants in Jiangxi province, number of species found in Chinese botanic gardens and natural reserves in Jiangxi, and categories of IUCN Red List

**2.2 物种丰富度的空间分布格局**

有唯一经纬度分布点数据包括的物种数量（361 种）占江西省重点保护植物总种数（407 种）的 88.7%。17.2%的种（62 种）仅有 1 个分布点，15.2%的种（55）有 2～5 个分布点，11.1%的种（40）有 6～10 个分布点，19.4%的种（70）有 11～30 个分布点，11.9%的种（43）有 31～50 个分布点，13.3%的种（48）有 51～100 个分布点，11.9%的种（43）分布点超过 100 个。分布点数量超过 300 个的种类有红花檵木（*Loropetalum chinense*）（419 个点）、赤楠（*Syzygium buxifolium*）（349）、三尖杉（*Cephalotaxus fortunei*）（332）和铁冬青（*Ilex rotunda*）（331）。调查强度较高的网格主要分布在赣西北、赣西、赣南和赣东的山地区域，比如庐山和井冈山（图 2：C）。虽然不同网格区域的调查强度存在显著差异，但整体而言，调查地点覆盖了江西省整个地理和环境梯度空间（图 2：A-C）。物种丰富度观察值≥20 的网格主要分布于江西省周边的山地区域，特别是北部的庐山，西部的九岭山、武功山和井冈山，南部的大庾岭、九连山，东部的武夷山及其邻近区域（图 2：D）。R-K 分析的物种丰富度估计值≥50 的网格呈现 5 个相对连片分布的区域，由北向南依次是：（1）赣东北的怀玉山和三清山及其邻近区域；（2）鄱阳湖流域，包括庐山和鄱阳湖国家自然保护区及其邻近区域；（3）武夷山脉北段，包括武夷山和马头山国家级自然保护区所在的邻近区域；（4）赣西的罗霄山脉，包括九岭山、官山、武功山和井冈山及其邻近区域；（5）赣南的南岭山地，包括大庾岭、九连山、乱罗峰和项山甑（图 2：E）。物种丰富度估计值连片分布的区域也是野外调查空缺相对更高的区域（图 2：F）。






**A.** 江西省的范围和地形；**B.** 江西省重点保护植物的分布点（红色点），国家级自然保护区（深绿色多边形），省级自然保护（浅绿色多边形）和 1 km ×1 km 网格分布；**C.** 1 km ×1 km 网格调查记录数量分布（$log_{10}$转换）；**D.** 物种丰富度观察值≥50 的网格分布；**E.** 物种丰富度估计值≥50 的网格分布；**F.** 1 km ×1 km 网格调查空缺分布。

**A.** Extent and topography of Jiangxi Province; **B.** Distribution records (red points), national natural reserves (dark-green polygons), provincial natural reserves (light-green polygons), and 1 km × 1 km grids; **C.** Distribution of the number of records in 1 km × 1 km grid surveys (log10 transformed); **D.** Distribution of the values of observed species richness(≥50) in each grid; **E.** Distribution of the values of estimated species richness (≥50) in each grid; **F.**

Distribution of the knowledge shortfall in each grid.

**图 2. 江西省重点保护植物克里金回归分析的数据和结果**

Fig. 2 Spatial data and results of regression-kriging (R-K) applied to the key protected wild vascular plants in Jiangxi province

## 3 讨论与展望

### 3.1 省级重点保护植物名录的厘定

保护名录是受保护物种的集合（蒋志刚，2019），重点保护物种名录的筛选厘定是有效实施野生植物保护，执行《中华人民共和国野生植物保护条例》（https://www.forestry.gov.cn/main/3950/20170314/459881.html）和《江西省野生植物资源保护管理暂行办法》（http://www.jiangxi.gov.cn/attach/0/b7c6e571449b4a22b513d253c740cbac.pdf）法律法规的基本依据。依据保护名录和相关法规不仅能依法打击乱采乱挖和非法交易等违法行为，还为保护事业的工作指明了方向（鲁兆莉等，2021；吴欣静等，2023）。《中华人民共和国野生植物保护条例》明确规定："野生植物分为国家重点保护野生植物和地方重点保护野生植物。国家重点保护野生植物分为国家一级保护野生植物和国家二级保护野生植物。国家重点保护野生植物名录，由国务院林业行政主管部门、农业行政主管部门（以下简称国务院野生植物行政主管部门）商国务院环境保护、建设等有关部门制定，报国务院批准公布。地方重点保护野生植物，是指国家重点保护野生植物以外，由省、自治区、直辖市保护的野生植物。地方重点保护野生植物名录，由省、自治区、直辖市人民政府制定并公布，报国务院备案。"江西省人民政府令第241号第四次修正2019年9月发布的《江西省野生植物资源保护管理暂行办法》第六条明确了省级重点保护的野生植物实行名录管理。因此《国家重点保护野生植物名录》（2021）和《江西省重点保护野生植物名录》（2005）是目前江西省开展省域范围内珍稀濒危植物保护最重要的科学依据。这两份植物名录形成了从中央到地方，分级保护和管理珍稀濒危野生植物资源的重点清单，也是地方各级自然资源、林政执法、海关检验等部门开展相关工作的重要依据。

研究表明，现行的《江西省重点保护植物名录》（2005）仍然需要大量细致地修订和完善工作。例如：和江西省动物保护名录存在相似的问题（蒋志刚，2019），即江西省分布的国家重点保护植物和省级保护植物名录有46种存在重叠，理应在新的省级保护名录中予以排除。排除重叠种类后的259种省重点保护植物中，高达77.2%的种类，包括63.7%的无危种（165种）和13.5%的近危种（35种），被评估为没有严重威胁；仅18.5%的种类（48种）是受威胁种。259种植物中，仅26.3%的种类（68种）是中国特有。且这些特有种中大部分（60%）是无危种。这些数字表明现行的省级重点保护植物名录未优先考虑在江西省有分布且受威胁的种类，例如：松叶蕨（*Psilotum nudum*, VU）、黄山鳞毛蕨（*Dryopteris whangshangensis*, EN）、福建青冈（*Quercus chungii*, EN）、小溪洞杜鹃（*Rhododendron xiaoxidongense*, EN）和丹霞通泉草（*Mazus danxiacola*, CR）等。同时，江西省有丰富的湿地生态系统，包括580多种湿地植物（何梅等，2015），然而省级重点保护植物名录中没有代表性的水生植物（有6种水生植物包括在国家保护名单中）。因而，对省域分布的水生植物进行系统评估，并纳入省级重点保护对象也是未来省级重点保护植物名录更新需要关注的问题。

此外，省级重点保护植物名录的选定过去主要依靠专家群体决策，缺乏明确的原则和标准。这势必影响保护名录的完整性和代表性。因此，为充分体现"保护优先原则"的科学决策过程（Mace et al., 2007; Brown et al., 2015; Carwardine et al., 2018; Le Berre et al., 2019; Hernandez et al., 2022），我们提出在省级保护名录收录的6E参考原则：（1）濒危性（Endangerment，选择最需要迁地保护的受威胁类群）；（2）特有性（Endemism，选择代表当地或区域特有的受威胁类群）；（3）经济性（Economic，选择提供当地或区域经济或社会

资源的类群，如药用植物）；（4）生态性（Ecological，选择在维持生态过程或支持生境恢复方面发挥作用的类群）；（5）标志性（Emblematic，选择可用作促进景观和生境保护旗舰的受威胁类群）；（6）演化独特性（Evolutionary，代表演化上显著而独特的单元）。前5个E原则源自（Maunder et al., 2004）早期针对珍稀濒危植物的迁地保护提出的优先保护对象选择的5E标准。第6个E原则来自系统发生多样性（Phylogenetic Diversity: PD）在生物多样性优先保护对象选择上的重要作用（Faith, 1992; Sarkar et al., 2006; Isaac et al., 2007; Faith, 2008）。依据这些原则或者标准有助于我们在未来省级重点保护名录的厘定中廓清国家和地方保护名录间的关系，形成从国家到省级明确的保护系列，从而有利于实施保护，便于管理和识别保护对象和保护执法。这里提出的6E参考原则和《国家重点保护野生植物名录》收录的5项基本原则（鲁兆莉等，2021）基本一致，同样适用于省级保护对象的筛选和确定。

**3.2 重点保护植物的丰富度空间分布**

本研究中R-K分析结果和部分经验性观察存在较高的一致性。例如：区系调查研究发现马头山有珍稀濒危种类196种，包括国家级保护的25种（鲍志贵等，2016），武功山有57种国家重点保护野生植物（周德中等，2023），分宜县有182种珍稀濒危植物（包括国家和省级重点保护）（钟卫红等，2019），宜春市有63种（王帆等，2023）和庐山有58种珍稀濒危植物（万加武等，2019）等。这些区域在R-K模型估计结果中都是重点保护植物丰富度的高值区域。同时，R-K估计的南岭九连山，武夷山脉的马头山和阳际峰及其邻近区域等高值区域也是江西省自然保护区发展规划重点关注的区域（黄志强等，2014）。总体来看，R-K估计的丰富度高值连续分布区域和江西省5个生物多样性保护关键区：（1）赣东武夷山脉-怀玉山脉亚热带高山阔叶林与针阔混交林生物多样性关键区；（2）赣南南岭-九连山脉中-南亚热带常绿阔叶林生物多样性关键区；（3）赣西罗霄山脉亚热带高山常绿阔叶林和针阔混交林生物多样性关键区；（4）赣西北幕阜山-九岭山中-北亚热带常绿落叶阔叶混交林关键区；（5）鄱阳湖湿地与区间河流生物多样性关键区，有较高的一致性。R-K分析结果也为野外补点调查提供了参考，例如：调查强度高或低的区域都存在不同程度的调查空缺，表明这些区域是未来野外调查需要着重关注的区域。当然，R-K分析也受调查数据固有偏差的影响。例如庐山、九岭山、武功山和井冈山及其邻近区域的调查强度要显著高于其他地区，因此物种丰富度的观察值和估计值都相对较高。物种详尽的地理分布知识经常是不完善的且存在偏差（Lomolino, 2004; Yang et al., 2013；Hortal et al., 2015）。这导致不少多样性的空间分布制图更像是调查数据的分布图而不是真正意义上的多样性分布图（Hortal et al., 2007）。而掌握详尽的物种分布依赖野外调查工作在时间和空间上的投入强度，以及相关的社会经济因素（Hortal et al., 2008; Boakes et al., 2010; Yang et al., 2014）。因此，重点保护植物野外分布调查仍然是一项需要长期坚持开展的研究工作。总体而言，本研究R-K模型分析使用的分布点数据覆盖了江西省整个地理和环境空间梯度，能够有效估计重点保护植物的物种丰富度分布格局，相关的结果能为重点保护植物的空间保护规划提供积极的指导意义。

相较与利用物种分布范围，例如出现范围（Extent of occurrence: EOO）和占有面积（Area of occupancy: AOO）（Gaston & Fuller, 2009; IUCN, 2020），以及生态位模型（Ecological niche modelling: SDM）（Franklin & Miller, 2010; Peterson et al., 2011）的分析方法而言，R-K方法的优点是：它充分利用了物种丰富度和环境变量的双重空间自相关关系，从而可以根据相对较少的调查样本（注意：样本需要在研究区域内的地理和环境梯度上有较好的代表性）构建覆盖研究区域内连续的物种丰富度梯度分布格局（Alves et al., 2019）。对于大多数分布范围都非常狭窄的珍稀濒危植物来说，地理和环境空间上的样本偏差问题更为严重（Gaston, 1997; Gaston, 2003）。因此基于物种分布范围和SDM分析经常会扭曲物种丰富度空间分布的真实模式（Gaston & Fuller, 2009; Pineda & Lobo, 2012）。R-K模型方法可以提供物种丰富度地理梯度的统计估算，用于帮助我们指导未来的物种调查、保护决策以及推断环境变化的影响

（Alves et al., 2019）。

**3.3 重点保护植物的未来研究和保护对策**

《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》“3030”等高新目标的提出，体现了全球扭转生物多样性丧失趋势的迫切愿望和宏伟目标（马克平，2023；徐靖和王金洲，2023；平晓鸽等，2023），也对珍稀濒危植物的保护提出了更高的要求。珍稀濒危植物的有效保护是一项长期而艰巨的工作任务，需要在充分了解保护对象的生物学特征、地理分布、气候变化条件的响应和适应、群体的遗传多样性、种群所面临的威胁因素等情况，才能更有效地指导保育恢复回归方面的实践工作（Heywood, 2017）。在保护管理和决策实践中，我们经常面临“信息不充分”甚至是“信息缺失”的尴尬局面（Heywood & Iriondo, 2003），而大量信息可能散落在各类研究文献，甚至是新闻报道中。因此，利用现代信息技术，构建覆盖保护对象地理分布、种群动态、遗传多样性等的数据库和分析决策平台，将为珍稀濒危植物保护的“一种一策”策略（黄宏文和廖景平，2022）提供数据和信息保障。例如：通过分子生物学技术，构建濒危物种的 DNA 条形码和基因组库，保存其完整的遗传信息，也将为物种保护提供最后的保障（郁文彬等，2013；Wei et al., 2022）。同时，综合运用保护生物学的多种工具，对珍稀濒危植物开展包括迁地保护、就地保护、回归和种群恢复等多项保护措施，以确保保护工作取得成效，已成为保护生物学研究领域的重要共识（Falk, 1990; Newton & Oldfield, 2012; Fišer et al., 2021; Yang et al., 2022; Borzée & Button, 2023）。

江西省407种重点保护植物中，60.9%的种类（248种）在32个自然保护区有分布记录，主要集中在北部的庐山，西部的井冈山、伊山、九连山等国家级和省级自然保护区内。70.5%的种类（287种）在国内67个植物园有引种栽培记录。尽管这些统计数字无法准确衡量重点保护植物实际的就地和迁地保护情况，但能为未来自然保护区和植物园在省重点保护植物的整合保护（integrated conservation）方面提供重要参考。虽然依托保护地的就地保护仍然是珍稀濒危植物最直接有效的保护方式（蒋亚芳等，2023），但植物园在迁地和整合保护上的优势和作用也不容忽视（Heywood, 2015）。例如，寒兰（*Cymbidium kanran*）广泛分布于江西省的山地环境。由于滥采乱挖、生境破碎或丧失，种群数量和分布区域急剧减小（杨静秋，2017）。要实现全域范围的就地保护并不现实，而迁地保护（例如：引种栽培和扩繁培育）可能是最直接有效的保护方法。

目前江西省已建立各类自然保护地190多个，以及庐山植物园和赣南树木园等多个迁地保护机构和设施，为珍稀濒危植物的综合保护提供了重要支撑平台。但大部分国家级和省级自然保护区呈现围绕山脉岛屿化集中分布，面积相对较小，并受行政区划等多因素限制，各自然保护区缺乏有效的联通性（刘信中，1994；黄志强等，2014），就地保护网络表现出一定程度的“碎片化”；且保护区和植物园间的联动协调缺乏系统性部署。适逢我国国家公园和国家植物园两大保护体系建设时期（欧阳志云等，2021；杨锐，2021；黄宏文和廖景平，2022；文世峰等，2023），江西省丰富的重点保护野生植物对于省区范围内的植物多样性保护工作而言既是机遇也面临挑战。为加强省域范围内珍稀濒危植物综合保护的各项工作，我们提出如下3个方面的建议：（1）继续加强资源调查、红色名录评估、遗传多样性等方面的基础研究工作；（2）尽快建立省域珍稀濒危植物大数据平台，有效促进数据和信息整合，改善保护管理的科学决策能力；（3）在综合保护框架下，加强就地和迁地保护机构间的联动协调，提升珍稀濒危植物的综合保护能力，实现保护协同增效。

## 致谢

感谢中国科学院植物研究所马克平研究员对该项研究工作的支持，国家标本资源共享平台（NSII）提供江西省维管植物分布数据，江西省、中国科学院庐山植物园科技基础专项

（2021ZWZX06，2023ZWZX01）提供经费支持，以及审稿专家对论文科学性和可读性的各项建设性意见。

## 参考文献：

ALVES DMCC, EDUARDO AA, DA SILVA OLIVEIRA EV, et al., 2019. Unveiling geographical gradients of species richness from scant occurrence data[J]. Glob Ecol Biogeogr, 29(4): 748-759.

BARTON K, 2009. MuMIn: multi-model inference. R package version 1.0.0.[M/OL] http://r-forge.r-proje ct.org/proje cts/mumin/.

BAO ZG, LI JX, GE G, et al., 2016. Rare and endangered plants in Jiangxi Matoushan national nature reserve[J]. J Nanchang Univ (Nat Sci), 40(5): 497-505. [鲍志贵，李健星，葛刚，等，2016. 江西马头山国家级自然保护区珍稀濒危植物及其保护[J]. 南昌大学学报(理科版)，40(5)：497-505.]

BOAKES EH, MCGOWAN PJK, FULLER RA, et al., 2010. Distorted views of biodiversity: spatial and temporal bias in species occurrence data[J]. PLoS Biol, 8(6): 1-11.

BORZÉE A, BUTTON S, 2023. Integrative conservation science: conservation knowledge must be used to guide policies[J]. Integrat Conserv, 2(2): 69-72.

BROWN CJ, BODE M, VENTER O, et al., 2015. Effective conservation requires clear objectives and prioritizing actions, not places or species[J]. Proc Nat Acad Sci, 112(32): E4342-E4342.

CARWARDINE J, MARTIN TG, FIRN J, et al., 2018. Priority threat management for biodiversity conservation: a handbook[J]. J Appl Ecol, 56(2): 481-490.

CRESSIE N, WIKLE CK, 2011. Statistics for spatio-temporal data[M]. Hoboken, New Jersey: Wiley: 1-624.

DAVIES TJ, CADOTTE MW, 2011. Quantifying biodiversity, does it matter what we measure?[M]// ZACHOS FE, Habel JC. Biodiversity hotspots: distribution and protection of conservation priority areas. New York: Springer: 43–60.

FAITH DP, 1992. Conservation evaluation and phylogenetic diversity[J]. Biol Conserv, 61(1): 1-10.

FAITH DP, 2008. Threatened species and the potential loss of phylogenetic diversity: conservation scenarios based on estimated extinction probabilities and phylogenetic risk analysis[J]. Conserv Biol, 22(6): 1461-1470.

FALK DA, 1990. Integrated strategies for conserving plant genetic diversity[J]. Ann Mo Bot Gard, 77(1): 38-47.

FERRIER S, 2002. Mapping spatial pattern in biodiversity for regional conservation planning: where to from here?[J]. Syst Biol, 51(2): 331-363.

FICK SE, HIJMANS RJ, 2017. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas[J]. Int J Climatol, 37(12): 4302-4315.

FIŠER Ž, ARONNE G, AAVIK T, et al., 2021. ConservePlants: an integrated approach to conservation of threatened plants for the 21st century[J]. Res Idea Outcomes, 7: e62810.

FLATHER C, KNOWLES M, KENDALL I, 1998. Threatened and endangered species geography[J]. Biosci, 48(5): 365-376.

FRANKLIN J, MILLER JA, 2010. Mapping species distributions spatial inference and prediction[M]. Cambridge: Cambridge University Press: 1-320.

FU LG, 1991. China plant red data book[M]. Beijing: Science Press: 1-736. [傅立国，1991. 中国植物红皮书[M]. 北京：科学出版社：1-736.]

FU LG, 1995. The gospel of China's rare and endangered plants——The list of national key protected wild plants to be published soon[J]. Life World, (3): 2-3. [傅立国，1995. 中国珍稀濒危植物的福音——国家重点保护野生植物名录公布在即[J]. 植物杂志，(3)：2-3.]
GASTON KJ, 2003. The structure and dynamics of geographic ranges[M]. New York: Oxford University Press: 1-280.
GASTON KJ, KUNIN, W. E, 1997. Rare-common differences: an overview. [M]// KUNIN WE, GASTON KJ. The biology of rarity: causes and consequences of rare-common difference. London: Chapman & Hall: 12-29.
GASTON KJ, FULLER RA, 2009. The sizes of species' geographic ranges[J]. J Appl Ecol, 46(1): 1-9.
HE M, ZHENG YT, YAN YY, et al., 2015. Current status and conservation and utilisation of wetland plant resources in Jiangxi Province[J]. Jiangsu Agric Sci, 43(9): 412-417.[何梅，郑育桃，严员英，等，2015. 江西省湿地植物资源现状及保护利用[J]. 江苏农业科学，43(9)：412-417.
HENGL T, 2009. A practical guide to geostatistical mapping[M]. BPR Publishers.]
HENGL T, HEUVELINK GBM, ROSSITER DG, 2007. About regression-kriging: from equations to case studies[J]. Comput Geosci, 33(10): 1301-1315.
HERNANDEZ JO, BUOT IE, PARK BB, 2022. Prioritizing choices in the conservation of flora and fauna[J]. Res Trend Method App, 11(10): 1645.
HE WL, WANG XJ, 2021. A miocene flora from the toupi formation in Jiangxi Province, southeastern China[J]. Palaeoworld, 30(4): 757-769.
HEYWOOD VH, IRIONDO JM, 2003. Plant conservation: old problems, new perspectives[J]. Biol Conserv, 113(3): 321-335.
HEYWOOD VH, 2015. *In situ* conservation of plant species – an unattainable goal?[J]. Israel J Plant Sci, 63(4): 211-231.
HEYWOOD VH, 2017. Plant conservation in the anthropocene – challenges and future prospects[J]. Plant Divers, 39(6): 314-330.
HIJMANS RJ, VAN ETTEN J, 2014. raster: Geographic data analysis and modeling. R package version 2.8.
HISCOCK SJ, WILKIN P, LENNON S, et al., 2019. Plants matter: introducing plants, people, planet[J]. Plants, People, Planet, 1(1): 2-4.
HORTAL J, DE BELLO F, DINIZ-FILHO JAF, et al., 2015. Seven shortfalls that beset large-scale knowledge of biodiversity[J]. Annu Rev Ecol Evol Syst, 46(1): 523-549.
HORTAL J, JIMÉNEZ-VALVERDE A, GÓMEZ JF, et al., 2008. Historical bias in biodiversity inventories affects the observed environmental niche of the species[J]. Oikos, 117(6): 847-858.
HORTAL JN, LOBO JM, JIMÉNEZ‐VALVERDE A, 2007. Limitations of biodiversity databases: case study on seed-plant diversity in tenerife, canary islands[J]. Conserv Biol, 21(3): 853-863.
HUANG HW, 2014. A checklist of *ex situ* cultivated flora of China[M]. Beijing: Science Press. [黄宏文，2014. 中国迁地栽培植物志名录[M]. 北京：科学出版社.]
HUANG HW, 2014-2021. *Ex situ* flora of China (Vol.1-22)[M]. Beijing: Science Press. [黄宏文，2014-2021. 中国迁地植物志(1-22 卷)[M]. 北京：科学出版社.]
HUANG HW, 2017. Encyclopedia of chinese garden flora[M]. Beijing: Science Press. [黄宏文，2017. 中国迁地栽培植物大全（1-12 卷)[M]. 北京：科学出版社.]
HUANG HW, LIAO JP, 2022. On China's national botanical gardens: Building a comprehensive system of *ex situ* conservation of national botanical gardens with task oriented disciplines[J].

Biodivers Sci, 30(6): 1-17. [黄宏文，廖景平，2022. 论我国国家植物园体系建设：以任务带学科构建国家植物园迁地保护综合体系[J]. 生物多样性，30(6)：1-17.]

HUANG ZQ, LU L, DAI NH, et al., 2014. Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province[J]. Acta Ecol Sin, 34(11): 3099-3106. [黄志强，陆林，戴年华，等，2014. 江西省自然保护区发展布局空缺分析[J]. 生态学报，34(11)：3099-3106.]

ISAAC NJB, TURVEY ST, COLLEN B, et al., 2007. Mammals on the EDGE: Conservation priorities based on threat and phylogeny[J]. PLoS ONE, 2(3): e296.

IUCN, 2020. Guidelines for using the IUCN red list categories and criteria version 15.1. https://www.iucnredlist.org/resources/redlistguidelines.

JI HL, ZHAN XH, ZHANG L, et al., 2019. Diversity and biogeographical characteristics of lycophytes and ferns in Mufu Mountains, China[J]. Biodivers Sci, 27(11): 1251-1259. [姬红利，詹选怀，张丽，等，2019. 幕阜山脉石松类和蕨类植物多样性及生物地理学特征[J]. 生物多样性，27(11)：1251-1259.]

JI CF, QIAN P, YANG QP, et al., 2010. Research on the floristic characteristics, geographical distributions and life-forms of plants endemic to Jiangxi Province[J]. J Wuhan Bot Res, 28(2): 153-160. [季春峰，钱萍，杨清培，等，2010. 江西特有植物区系、地理分布及生活型研究[J]. 武汉植物学研究，28(2)：153-160.]

JI L, XIE YF, LI ZY, et al., 2022. A checklist of wild vascular plants in Jiangxi Province, China[J]. Biodivers Sci, 30(6): 1-8. [寄玲，谢宜飞，李中阳，等，2022. 江西省野生维管植物名录[J]. 生物多样性，30(6)：1-8.]

JIANGXI FORESTRY EDITORIAL COMMITTEE, 1986. Jiangxi Forestry[M]. Nanchang: Jiangxi Science and Technology Press.[江西森林编委会，1986. 江西森林[M]. 南昌：江西科技出版社.]

JIANG YF, TIAN J, LIU ZL, et al., 2023. The Resource Status and Conservation Strategies of National Key Protected Wild Plants in China[J]. Forest Resour Manage, (4): 1-10. [蒋亚芳，田静，刘增力，等，2023. 全国重点保护野生植物资源现状及保护策略[J]. 林业资源管理，(4)：1-10.]

JIANG ZG, 2019. China’s key protected species lists, their criteria and management[J]. Biodivers Sci, 27(6): 698-703. [蒋志刚，2019. 中国重点保护物种名录、标准与管理[J]. 生物多样性，27(6)：698-703.]

KNAPP S, 2019. People and plants: The unbreakable bond[J]. Plants, People, Planet, 1(1): 20-26.

LE BERRE M, NOBLE V, PIRES M, et al., 2019. How to hierarchise species to determine priorities for conservation action? A critical analysis[J]. Biodivers Conserv, 28(12): 3051-3071.

LIAO HH, JIN JY, XIE YF, et al., 2022. New record species of seed plants from Jiangxi Province, China[J]. S China For Sci, 50(3): 52-53. [廖海红，金佳怡，谢宜飞，等，2022. 江西省种子植物新记录[J]. 南方林业科学，50(3)：52-53.]

LIN QW, 2017. Catalogue of cultivate plants in China[M]. Beijing: Science Press. [林秦文，2017. 中国栽培植物名录[M]. 北京：科学出版社.]

LIN Y, 1983. The geographical distribution of forests in Jiangxi Province[J]. J Nanchang Univ (Nat Sci), (4): 1-18. [林英，1983. 江西森林的地理分布[J]. 南昌大学学报(理科版)，(4)：1-18.]

LIU H, WANG CW, XIAO HW, et al., 2020. Additional records of Orchidaceae in Jiangxi Province[J]. J Nanchang Univ (Nat Sci), 44(2): 167-171. [刘环，王程旺，肖汉文，等，2020. 江西兰科植物新资料[J]. 南昌大学学报(理科版)，44(2)：167-171.]

LIU XZ, 1994. On the developmental program for Jiangxi Province nature reserve[J]. Jiangxi Sci, (4): 248-254. [刘信中，1994. 论江西省自然保护区发展规划[J]. 江西科学，(4)：248-254.]

LIU ZC, ZHANG Z, LAN Y, et al., 2020. Status and management strategy for rare and endangered key protected wild plants in the Luoxiao Mountains[J]. Biodivers Sci, 28(7): 867-875. [刘忠成，张忠，兰勇，等，2020. 罗霄山脉珍稀濒危重点保护野生植物的生存状况及保护策略[J]. 生物多样性，28(7)：867-875.]

LOBO JM, HORTAL J, YELA JL, et al., 2018. *KnowBR*: An application to map the geographical variation of survey effort and identify well-surveyed areas from biodiversity databases[J]. Ecol Indic, 91: 241-248.

LOMOLINO MV, 2004. Conservation biogeography[M]// LOMOLINO MV, HEANEY LR. Frontiers of biogeography: New directions in the geography of nature. Sunderland, MA: Sinauer: 293-296.

LU ZL, QIN HN, JIN XH, et al., 2021. On the necessity, principle, and process of updating the list of national key protected wild plants[J]. Biodivers Sci, 29(12): 1577-1582. [鲁兆莉，覃海宁，金效华，等，2021.《国家重点保护野生植物名录》调整的必要性、原则和程序[J]. 生物多样性，29(12)：1577-1582.]

MACE GM, POSSINGHAM HP, NIGEL L-W, 2007. Prioritizing choices in conservation[M]// MACDONALD D, SERVICE K. Key topics in conservation biology 2. New Jersey: Wiley-Blackwell: 17-34.

MA KP, 2001. Hotspots assessment and conservation priorities identification of biodiversity in china should be emphasized[J]. Chin J Plant Ecol, 25(1): 125+124. [马克平，2001. 中国生物多样性热点地区（Hotspot）评估与优先保护重点的确定应该重视[J]. 植物生态学报，25(1)：125+124.]

MA K P, 2023. Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework: An important global agenda for biodiversity conservation[J]. Biodivers Sci, 31(4): 1-2. [马克平，2023.《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》是重要的全球生物多样性保护议程[J]. 生物多样性，31(4)：1-2.]

MAUNDER M, GUERRANT E, HAVENS K, et al., 2004. Realizing the full potential of *ex situ* contributions to global plant conservation[M]// GUERRANT JR. E, O., HAVENS K, MAUNDER M. *Ex situ* plant conservation: supporting species survival in the wild. Washington (DC): Island Press: 389-418.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 1999. Perspectives on biodiversity: Valuing its role in an everchanging world[M]. Washington (DC): National Academies Press: 1-153.

NEWTON A, OLDFIELD S, 2012. Integrated conservation of tree species by botanic gardens: a reference manual[M]. Richmond, UK.: Botanic Gardens Conservation International: 1-54.

OUYANG ZY, XU WH, ZANG ZH, 2021. Suggestions on improving the management system of national parks[J]. Biodivers Sci, 29(3): 272-274. [欧阳志云，徐卫华，臧振华，2021. 完善国家公园管理体制的建议[J]. 生物多样性，29(3)：272-274.]

PARADIS E, CLAUDE J, STRIMMER K, 2004. APE: Analyses of phylogenetics and evolution in R language[J]. Bioinformatics, 20(2): 289-290.

PENG YS, TANG ZB, XIE YF, 2021. Inventory of species diversity of Jiangxi vascular plants[M]. Beijing: China Forestry Publishing House: 1-432. [彭焱松，唐忠炳，谢宜飞，2021. 江西省维管植物多样性编目[M]. 北京：中国林业出版社：1-432.]

PETERSON AT, SOBERÓN J, PEARSON RG, et al., 2011. Ecological niches and geographic distributions[M]. Princeton, New Jersey: Princeton University Press: 1-328.

PINEDA E, LOBO JM, 2012. The performance of range maps and species distribution models representing the geographic variation of species richness at different resolutions[J]. Global Ecol

Biogeogr, 21(9): 935-944.
PING XG, ZHU J, WEI FW, 2023. From Egypt to Kunming-Montreal—The shift of the post-2020 global biodiversity framework[J]. Acta Theriol Sin, 43(4): 357-363. [平晓鸽，朱江，魏辅文，2023. 从埃及到昆明-蒙特利尔—2020 年后全球生物多样性框架的转变[J]. 兽类学报，43(4)：357-363.]
PRENDERGAST JR, WOOD SN, LAWTON JH, et al., 1993. Correcting for variation in recording effort in analyses of diversity hotspots[J]. Biodivers Lett, 1(2): 39-53.
QIN QM, WU LF, YE HG, et al., 2021. Spermatophyte flora of Jiuling Range, Jiangxi[J]. Guihaia, 41(3): 470-481. [覃俏梅，吴林芳，叶华谷，等，2021. 江西九岭山脉种子植物区系研究[J]. 广西植物，41(3)：470-481.]
SARKAR S, PRESSEY RL, FAITH DP, et al., 2006. Biodiversity conservation planning tools: present status and challenges for the future[J]. Annu Rev Env Resour, 31(1): 123-159.
SOUSA-BAENA MS, GARCIA LC, PETERSON AT, 2014. Completeness of digital accessible knowledge of the plants of Brazil and priorities for survey and inventory[J]. Divers Distrib, 20(4): 369-381.
WAN JW, XIA HL, ZHOU SX, et al., 2019. Quantitative study on conservation priority of rare and endangered plants in Lushan National Nature Reserve, Jiangxi[J]. J Trop Subtrop Bot, 27(2): 171-180. [万加武，夏海林，周赛霞，等，2019. 江西庐山国家级自然保护区珍稀濒危植物优先保护定量研究[J]. 热带亚热带植物学报，27(2)：171-180.]
WANG S, XIE Y, 2004. China species red list, vol. 1 red list[M]. Beijing: Science Press. [汪松，解炎，2004. 中国物种红色名录，第一卷：红色名录[M]. 北京：高等教育出版社.]
WANG CX, XIAO YA, LI Y, et al., 2007. Floristic characteristics of the rare and endangered plants in Jiangxi Province[J]. J Southwest Univ (Nat Sci Ed), 29(10): 92-96. [王春香，肖宜安，李蕴，等，2007. 江西省珍稀濒危植物区系特征研究[J]. 西南大学学报(自然科学版)，29(10)：92-96.]
WANG F, HUANG P, HOU DL, et al., 2023. Present situation and protection countermeasures of national key protected plants in Yichun City[J]. S China For Sci, 51(4): 41-46. [王帆，黄平，侯董亮，等，2023. 宜春市国家重点保护植物现状及保护对策[J]. 南方林业科学，51(4)：41-46.]
WANG JL, 1994. Overview of rare and endangered plants and nature reserves in Jiangxi Province[J]. Life World, (4): 16. [王江林，1994. 江西的珍稀濒危植物和自然保护区概述[J]. 植物杂志，(4)：16.]
WANG LS, JIA Y, ZHANG XC, et al., 2015. Overview of higher plant diversity in China[J]. Biodivers Sci, 23(2): 217-224. [王利松，贾渝，张宪春，等，2015. 中国高等植物多样性[J]. 生物多样性，23(2)：217-224.]
WANG LS, JIA Y, ZHANG XC, et al., 2018. Species catalogue of China: Volume 1, plants a synoptic checklist[M]. Beijing: Science Press. [王利松，贾渝，张宪春，等，2018. 中国生物物种名录：第一卷，植物总名录[M]. 北京：科学出版社.]
WEI FW, HUANG GP, GUAN DF, et al., 2022. Digital Noah’s Ark: last chance to save the endangered species[J]. Sci China-Life Sci, 65(11): 2325-2327.
WEN SF, ZHOU ZH, HE T, et al., 2023. Background, procedures, ideas and key considerations for formulating the National Botanical Garden System Layout Plan of China[J]. Biodivers Sci, 31(9): 1-6. [文世峰，周志华，何拓，等，2023. 《国家植物园体系布局方案》编制背景、程序、思路和重点考虑[J]. 生物多样性，31(9)：1-6.]
WU D, LI B, YANG B, 2022. List of wild angiosperms in Jiangxi Province[M]. Beijing: China

Forestry Publishing House. [吴丁，李波，杨波，2022. 江西省野生被子植物名录[M]. 北京：中国林业出版社.]
WU XJ, CHEN JF, CUI GF, 2023. Proposals for updating the List of National Key Protected Wild Plants—Based on an analysis of existing conservation lists[J]. Biodivers Sci, 31(7): 1-12. [吴欣静，陈金锋，崔国发，2023. 《国家重点保护野生植物名录》更新建议——基于对现有保护名录的分析[J]. 生物多样性，31(7)：1-12.]
XIE GW, 1991. Studies on the woody floristic components and characters of Jiangxi[J]. Bull Bot Res, 11(1): 91-99. [谢国文，1991. 江西木本植物区系成分及其特征的研究[J]. 植物研究，11(1)：91-99.]
XIE GW, 1994. A study on the resources of rare and endangered plants and their protection in Jiangxi Province[J]. Resour Dev Mark, 10(1): 17-19. [谢国文，1994. 江西珍稀濒危植物资源与保护[J]. 资源开发与市场，10(1)：17-19.]
XIE GW, ZHOU ZD, NONG ZL, 1996. Studies on the biodiversity and protection of endenmic genera of Chinese seed plants in Jiangxi Province[J]. J Wuhan Bot Res, 14(4): 294-300. [谢国文，周芝德，农植林，1996. 江西种子植物特有属的生物多样性及其保护[J]. 武汉植物学研究，14(4)：294-300.]
XU CJ, 2021. Analysis of angiosperm flora in Jiangxi Province[D]. Nanchang: Jiangxi Agricultural University. [徐楚津，2021. 江西省被子植物区系分析[D]. 南昌：江西农业大学.]
XU GL, HUANG Z, 2023. New data of vascular flora in Jiangxi Province, China[J]. J Nanjing For Univ (Nat Sci Ed), 47(3): 97-102. [徐国良，黄曾，2023. 江西省维管植物区系新资料[J]. 南京林业大学学报（自然科学版），47(3)：97-102.]
XU J, WANG JZ, 2023. Analysis of the main elements and implications of the Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework[J]. Biodivers Sci, 31(4): 1-9. [徐靖，王金洲，2023. 《昆明-蒙特利尔全球生物多样性框架》主要内容及其影响[J]. 生物多样性，31(4)：1-9.]
XU Y, ZANG RG, 2023. Conservation of rare and endangered plant species in China[J]. iScience, 26(2): 106008.
YANG GY, 2018. Broad-leaved evergreen forests in Jiangxi[J]. For Humankind, 341(11): 16-17. [杨光耀，2018. 江西的常绿阔叶林[J]. 森林与人类，341(11)：16-17.]
YANG JQ, 2017. Distribution and conservation status of wild *Cymbidium kansan* Makino in Jiangxi Province[J]. S Chin Agric, 11(27): 40-41. [杨静秋，2017. 江西省野生寒兰分布和保护现状[J]. 南方农业，11(27)：40-41.]
YANG J, TAO LD, YANG JR, et al., 2022. Integrated conservation of *Acer yangbiense*: A case study for conservation methods of plant species with extremely small populations[J]. Plants, People, Planet, 5(4): 574-580.
YANG R, 2021. National park governance system of China: Principles, vision and approaches[J]. Biodivers Sci, 29(3): 269-271. [杨锐，2021. 中国国家公园治理体系：原则、目标与路径[J]. 生物多样性，29(3)：269-271.]
YANG WJ, MA KP, HOLGER K, 2013. Geographical sampling bias in a large distributional database and its effects on species richness–environment models[J]. J Biogeogr, 40(8): 1415-1426.
YANG WJ, MA KP, KREFT H, 2014. Environmental and socio-economic factors shaping the geography of floristic collections in China[J]. Global Ecol Biogeogr, 23(11): 1284-1292.
YU Q, WANG SQ, JIE ZP, et al., 2016. Distribution pattern and hot spots of key-protected wild plants in Jiangxi Province[J]. S China For Sci, 44(4): 1-4. [俞群，王思琦，揭正平，等，2016. 江西重点保护野生植物分布格局和热点地区评价[J]. 南方林业科学，44(4)：1-4.]

YU WB, WANG YH, WANG H, 2013. Progress of iFlora in China: Building a Rapid Identification System for China's National Protected Key Wild Plants[J]. Plant Divers Resour, 35(6): 706+810. [郁文彬，王雨华，王红，2013. iFlora 系列进展之一：基于 DNA 条形码的“国家重点保护野生植物鉴定信息平台”建设完成[J]. 植物分类与资源学报，35(6)：706+810.]
YU YF, 1999. A milestone in china's wild plant conservation——The list of wild plants under state key protection (the first batch) [J]. Life World, (5): 3. [于永福，1999. 中国野生植物保护工作的里程碑——《国家重点保护野生植物名录(第一批)》出台[J]. 植物杂志，(5)：3.]
YUAN H, ZHANG YB, QIN HN, et al., 2009. The *in situ* conservation of state key protected wild plants in national nature reserves in China[J]. Biodivers Sci, 17(3): 280-287. [苑虎，张殷波，覃海宁，等，2009. 中国国家重点保护野生植物的就地保护现状[J]. 生物多样性，17(3)：280-287.]
ZANG M, ZENG H, YU CY, et al., 2018. The geographic distribution differences of rare and endangered plants in Jiangxi Province[J]. J Fujian For Sci Technol, 45(3): 5-12. [臧敏，曾欢，于彩云，等，2018. 江西珍稀濒危植物的地理分布差异[J]. 福建林业科技，45(3)：5-12.]
ZANG M, HUANG LF, LI DY, et al., 2007. Space-time analysis on the national protected wild plants in Jiangxi Province[J]. Guihaia, 27(1): 77-83. [臧敏，黄立发，李典友，等，2007. 江西国家重点保护野生植物的时空分析[J]. 广西植物，27(1)：77-83.]
ZANG M, MAO SJ, 2005. A analysis on the threatened protective plants in Jiangxi Province[J]. J Shangrao Norm Univer, 25(6): 90-97. [臧敏，毛尚俊，2005. 江西国家珍稀濒危保护植物分析[J]. 上饶师范学院学报，25(6)：90-97.]
ZHANG YB, MA KP, 2008. Geographic distribution characteristics of the national key protected wild plants in Chian[J]. Chin J Appl Ecol, 19(8): 1670-1675. [张殷波，马克平，2008. 中国国家重点保护野生植物的地理分布特征[J]. 应用生态学报，19(8)：1670-1675.]
ZHANG YB, MA KP, 2008. Geographic distribution patterns and status assessment of threatened plants in China[J]. Biodivers Conserv, 17(7): 1783-1798.
ZHAO WY, LIU ZC, YE HG, et al., 2020. Floristic characteristics and north-south differentiation of seed plants in the Luoxiao Mountains[J]. Biodivers Sci, 28(7): 842-853. [赵万义，刘忠成，叶华谷，等，2020. 罗霄山脉种子植物区系及其南北分化特征[J]. 生物多样性，28(7)：842-853.]
ZHENG SS, WANG CX, CHEN BP, et al., 2019. *Lysimachia petelotii* Merrill (Primulaceae), a newly recorded species from Jiangxi[J]. Jiangxi Sci, 37(6): 860-861. [郑圣寿，王垂祥，陈宝平，等，2019. 江西珍报春花科一新纪录——阔叶假排草[J]. 江西科学，37(6)：860-861.]
COMMITTEE OF THE CHINESE COMPLETE BOOK OF AGRICULTURE, 2001. China agriculture book (Jiangxi volume)[M]. Beijing: China Agriculture Press. [中国农业全书总编辑委员会，2001. 中国农业全书(江西卷)[M]. 北京：中国农业出版社.]
ZHONG WH, CAO L, DU XL, et al., 2019. Study on analysis and protection tactics of rare and endangered plants in Fenyi County[J]. J Jiangxi Univ Chin Med, 31(1): 10-15. [钟卫红，曹岚，杜小浪，等，2019. 江西省分宜县珍稀濒危保护药用植物资源分析及保护策略研究[J]. 江西中医药大学学报，31(1)：10-15.]
ZHOU DZ, QIU XD, WANG SJ, et al., 2023. Analysis of floristic characteristics of key protected plants in Wugong Mountain[J]. S China For Sci, 51(3): 51-55. [周德中，邱相东，王绍剑，等，2023. 武功山重点保护植物区系特征分析[J]. 南方林业科学，51(3)：51-55.]
ZHOU ZH, JIN XH, 2021. Analysis and suggestions on policies and regulations on conservation and management of wild plants in China[J]. Biodivers Sci, 29(12): 1583-1590. [周志华，金效华，

2021. 中国野生植物保护管理的政策、法律制度分析和建议[J]. 生物多样性，29(12)：1583-1590.]